

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
IST
10 de Janeiro de 2012

REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS: CASOS CONCRETOS E CUSTOS

Aníbal Costa

Organização

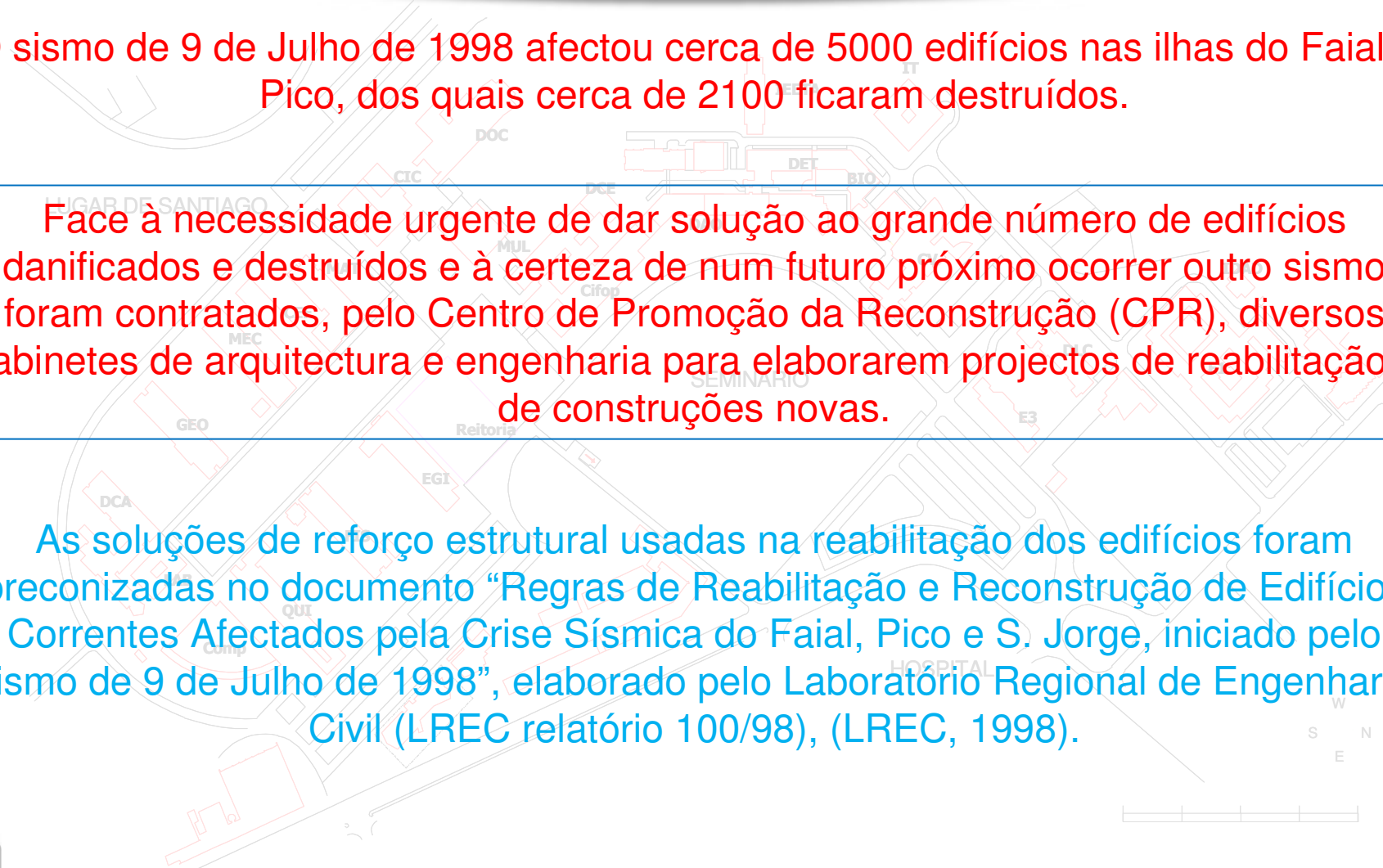




SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

INTRODUÇÃO

O sismo de 9 de Julho de 1998 afectou cerca de 5000 edifícios nas ilhas do Faial e Pico, dos quais cerca de 2100 ficaram destruídos.



Face à necessidade urgente de dar solução ao grande número de edifícios danificados e destruídos e à certeza de num futuro próximo ocorrer outro sismo foram contratados, pelo Centro de Promoção da Reconstrução (CPR), diversos gabinetes de arquitectura e engenharia para elaborarem projectos de reabilitação e de construções novas.

As soluções de reforço estrutural usadas na reabilitação dos edifícios foram preconizadas no documento “Regras de Reabilitação e Reconstrução de Edifícios Correntes Afectados pela Crise Sísmica do Faial, Pico e S. Jorge, iniciado pelo sismo de 9 de Julho de 1998”, elaborado pelo Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC relatório 100/98), (LREC, 1998).





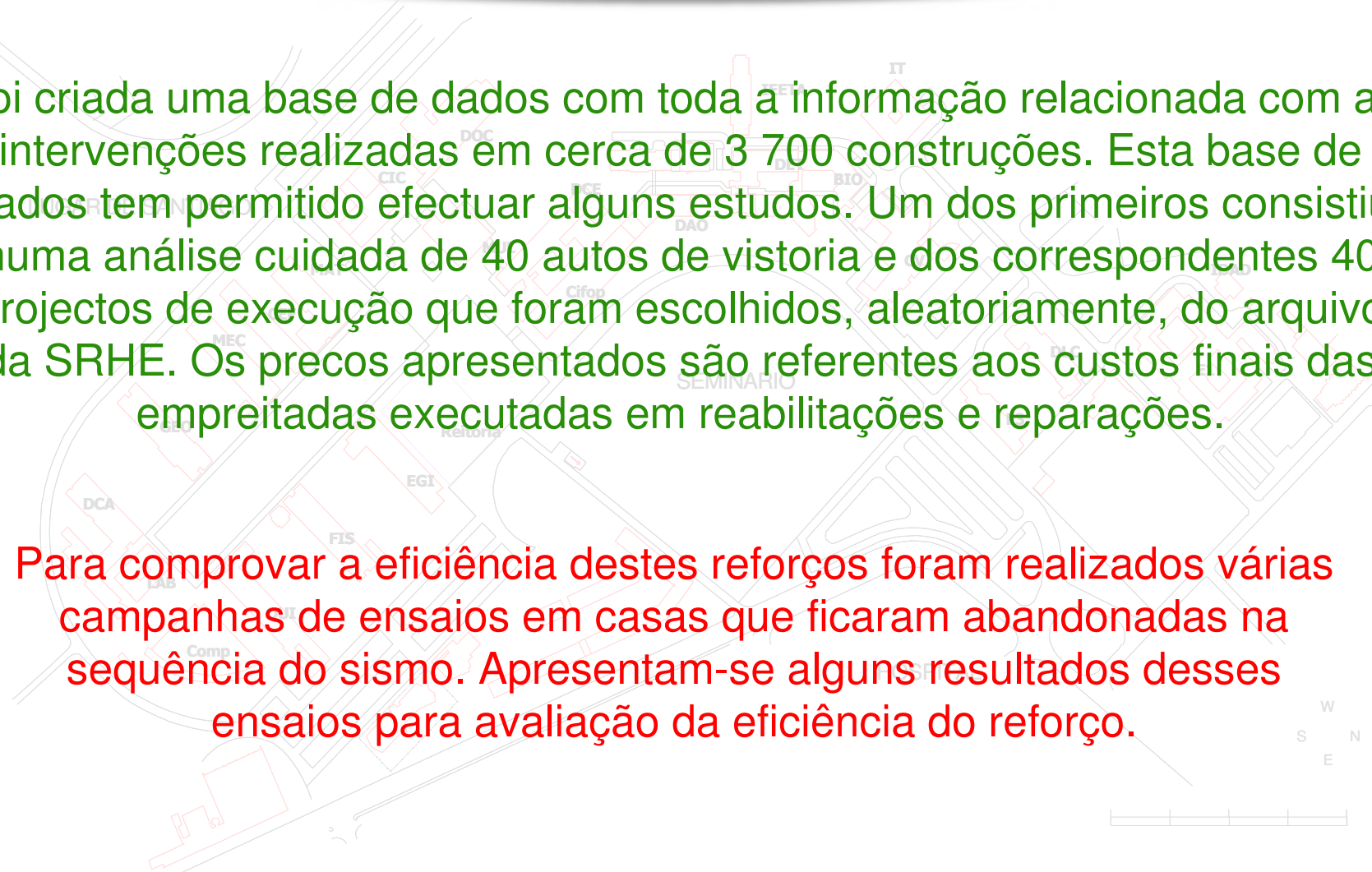


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

INTRODUÇÃO

Foi criada uma base de dados com toda a informação relacionada com as intervenções realizadas em cerca de 3 700 construções. Esta base de dados tem permitido efectuar alguns estudos. Um dos primeiros consistiu numa análise cuidada de 40 autos de vistoria e dos correspondentes 40 projectos de execução que foram escolhidos, aleatoriamente, do arquivo da SRHE. Os preços apresentados são referentes aos custos finais das empreitadas executadas em reabilitações e reparações.

Para comprovar a eficiência destes reforços foram realizadas várias campanhas de ensaios em casas que ficaram abandonadas na sequência do sismo. Apresentam-se alguns resultados desses ensaios para avaliação da eficiência do reforço.



SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

Os preços apresentados devem ser considerados com algum cuidado pois englobam outros trabalhos adicionais, ou seja, não é só contabilizado o preço do reforço em si mas também os trabalhos associados à sua execução. Os valores apresentados têm por base uma análise cuidada do mapa de medições em particular de 17 Reabilitações e referem-se a valores das ilhas, que correspondem a cerca de 30% acima dos preços do continente.

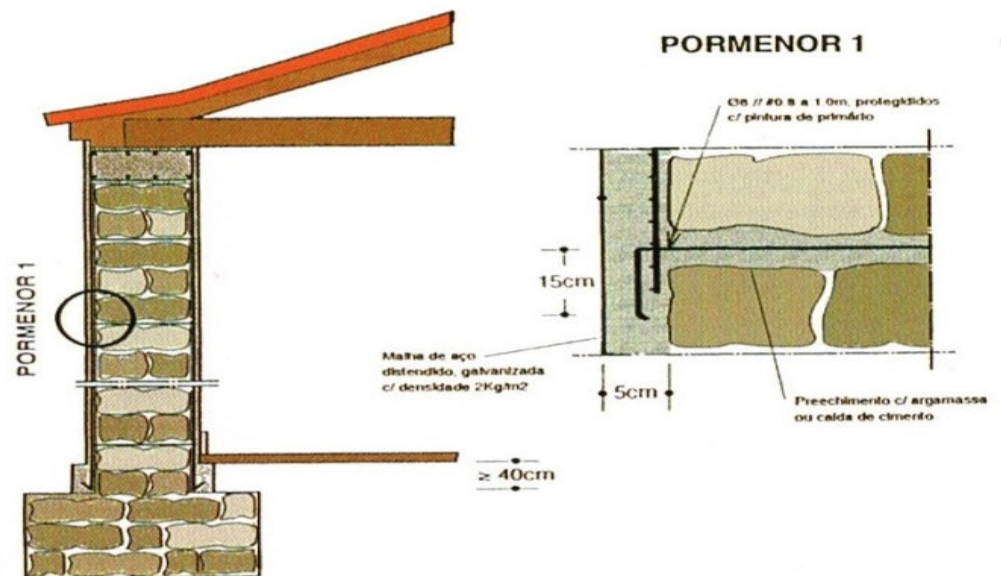
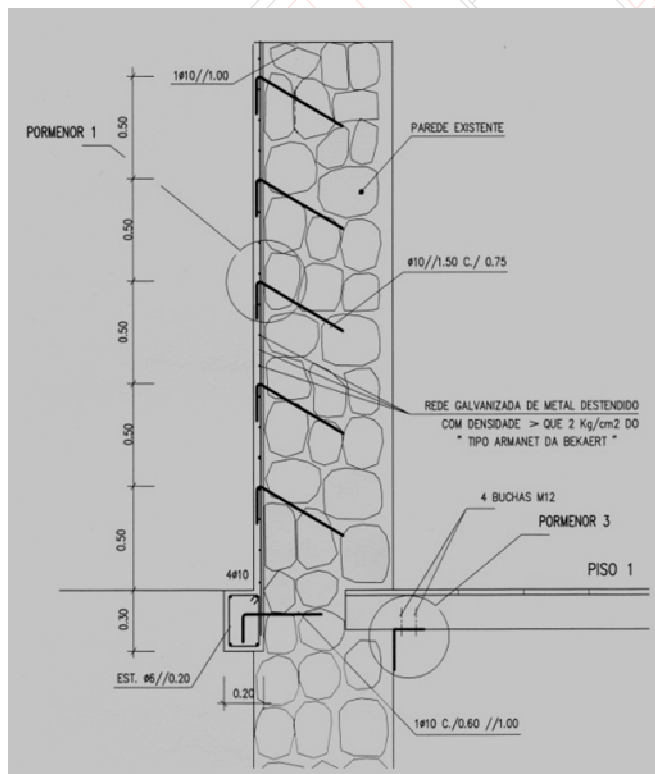
OBRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	
Pisos	1	3	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	
Área m ²	51,5	225,6	61,5	122,9	70,9	100,1	138,8	130,3	115,7	194,6	78,0	62,9	158,4	133,7	68,7	73,4	
Tipo Reforço																	Média €/m ²
1		80,7	205,3		117,4		136,9	208,5		27,0	72,8	66,3		114,1	247,7	133,7	128,2
2	22,2			5,7	13,0	25,7		34,8						19,0	41,3	22,3	23,0
3	88,8	71,8	88,0	34,3		90,0		104,3	59,0	10,8	29,1	26,5	105,7	57,0	66,8	66,8	64,2
4										10,8	29,1	26,5	105,7				43,0
5		26,9		17,2					25,3	5,4	14,6	13,3					17,1

SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

1.- Consolidação das paredes de alvenaria.

A consolidação de paredes de alvenaria consiste na execução de um “reboco armado”. Esta intervenção envolve a limpeza das juntas e o seu refechamento para aplicação de uma rede metálica devidamente ancorada por peças metálicas e, finalmente, de uma camada de recobrimento (mínimo 3 cm).



ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

Salão (Faial, Açores)

- Danificada durante o sismo 1998
- Casa tipicamente açoriana (rural de um piso)
- Alvenaria de pedra (2 folhas com enchimento)
- Paredes rebocadas, paredes interiores em tabique
- 3 Tipos de reforços ensaiados



ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

Salão (Faial, Açores)



- Sistema leve
- Portátil
- 1 ensaio/dia

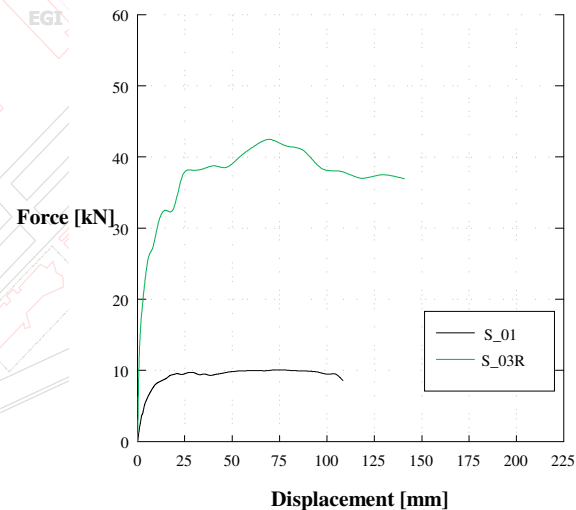


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

1.- Consolidação das paredes de alvenaria.

A consolidação de paredes de alvenaria consiste na execução de um “reboco armado”. Esta intervenção envolve a limpeza das juntas e o seu refechamento para aplicação de uma rede metálica devidamente ancorada por peças metálicas e, finalmente, de uma camada de recobrimento (mínimo 3 cm).



HOSPITAL

rS01 – Original

rS03R – reboco armado em ambas as faces

W
S N



SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

1.- Consolidação das paredes de alvenaria.

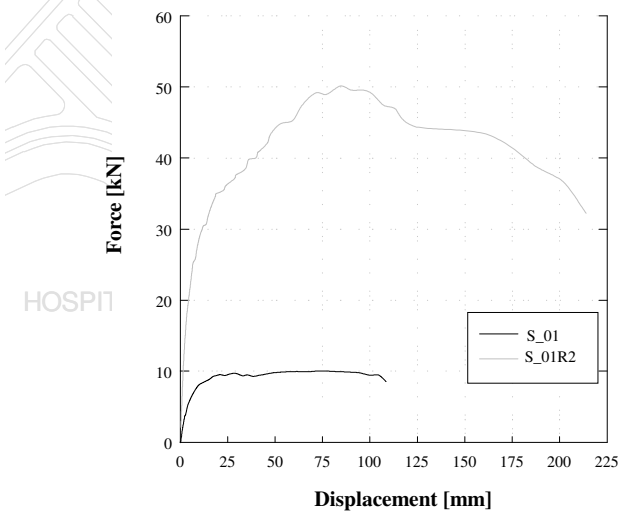
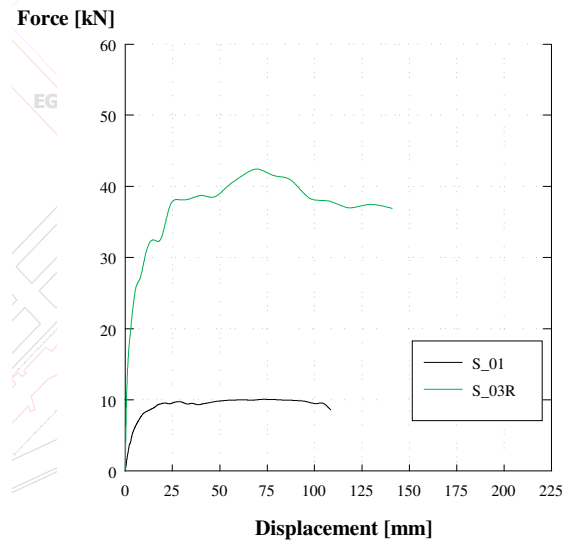
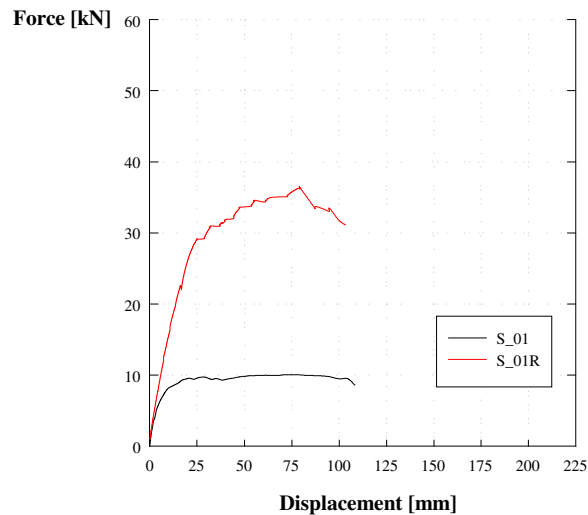
A consolidação de paredes de alvenaria consiste na execução de um “reboco armado”. Esta intervenção envolve a limpeza das juntas e o seu refechamento para aplicação de uma rede metálica devidamente ancorada por peças metálicas e, finalmente, de uma camada de recobrimento (mínimo 3 cm).

rS01R – reboco armado em ambas as faces e vigas no topo

rS01R – reboco armado em ambas as faces

rS01R – reboco armado em ambas as faces e vigas no topo mais lintel de fundação

rS01 – Original

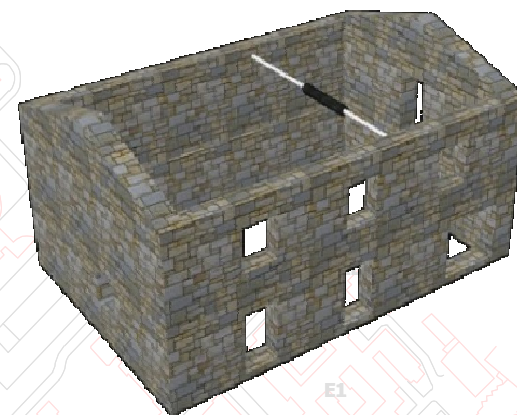
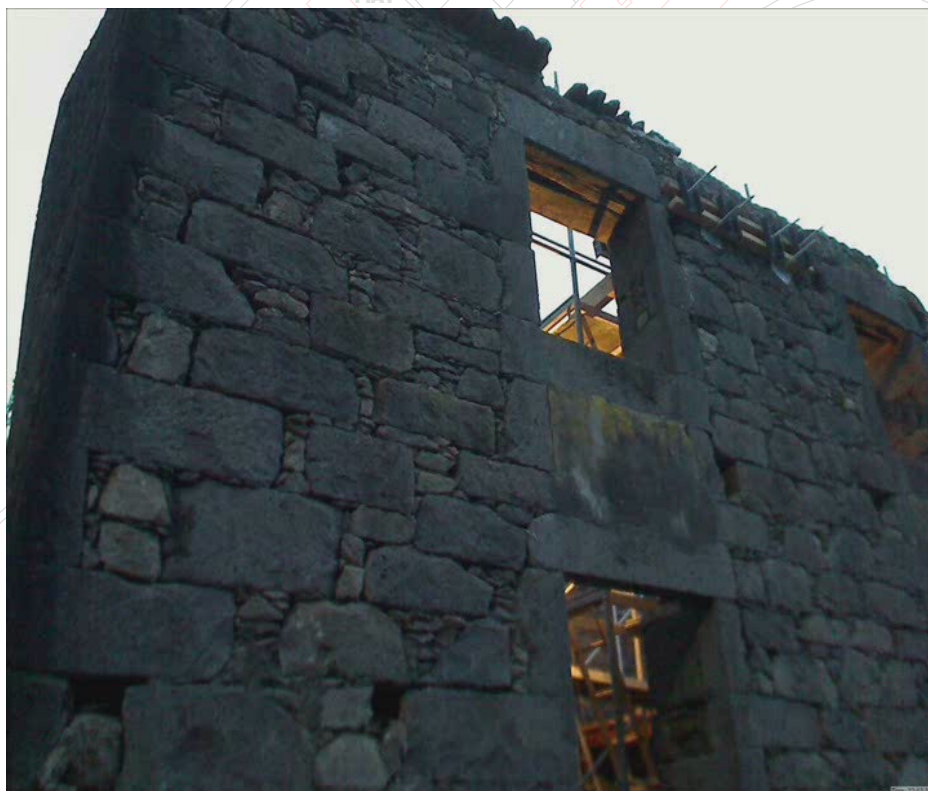


ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

Canada do Sousa (Faial, Açores)

3 SOLUÇÕES DE REFORÇO

LUGAR DE SANTIAGO



ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

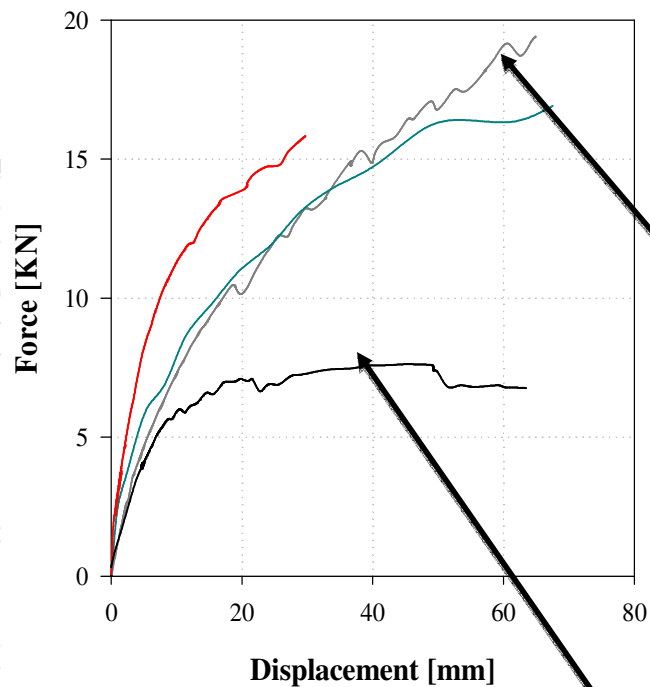
Canada do Sousa (Faial, Açores)

➤ Comparação directa de reforços, mesmo entre os dois casos práticos

LUGAR DE SANTIAGO

rCS01 – Original

CS03R – reboco armado numa face



rCS01R – reboco armado numa face



HOSPITAL

rCS01 – Original



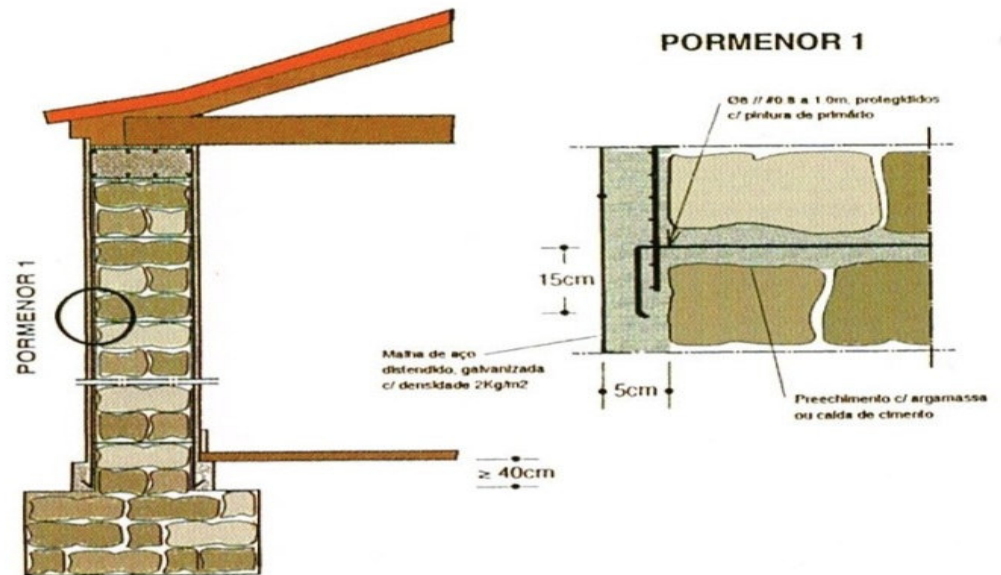
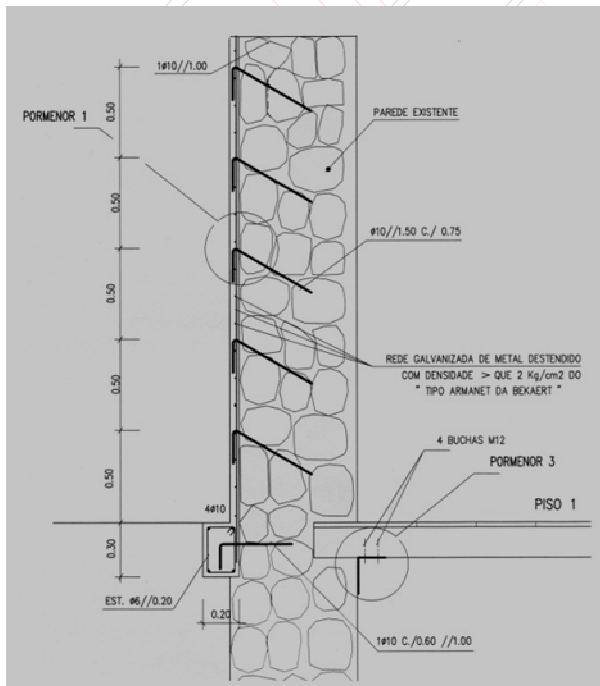
SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

Custos Finais

A intervenção em 11 casas representou um custo total de **846.604,5€**. O custo do reforço nas 11 casas foi de **142.523,1€** correspondendo a uma % de **16,8%**

Custo médio do reforço: **128 €/m²**

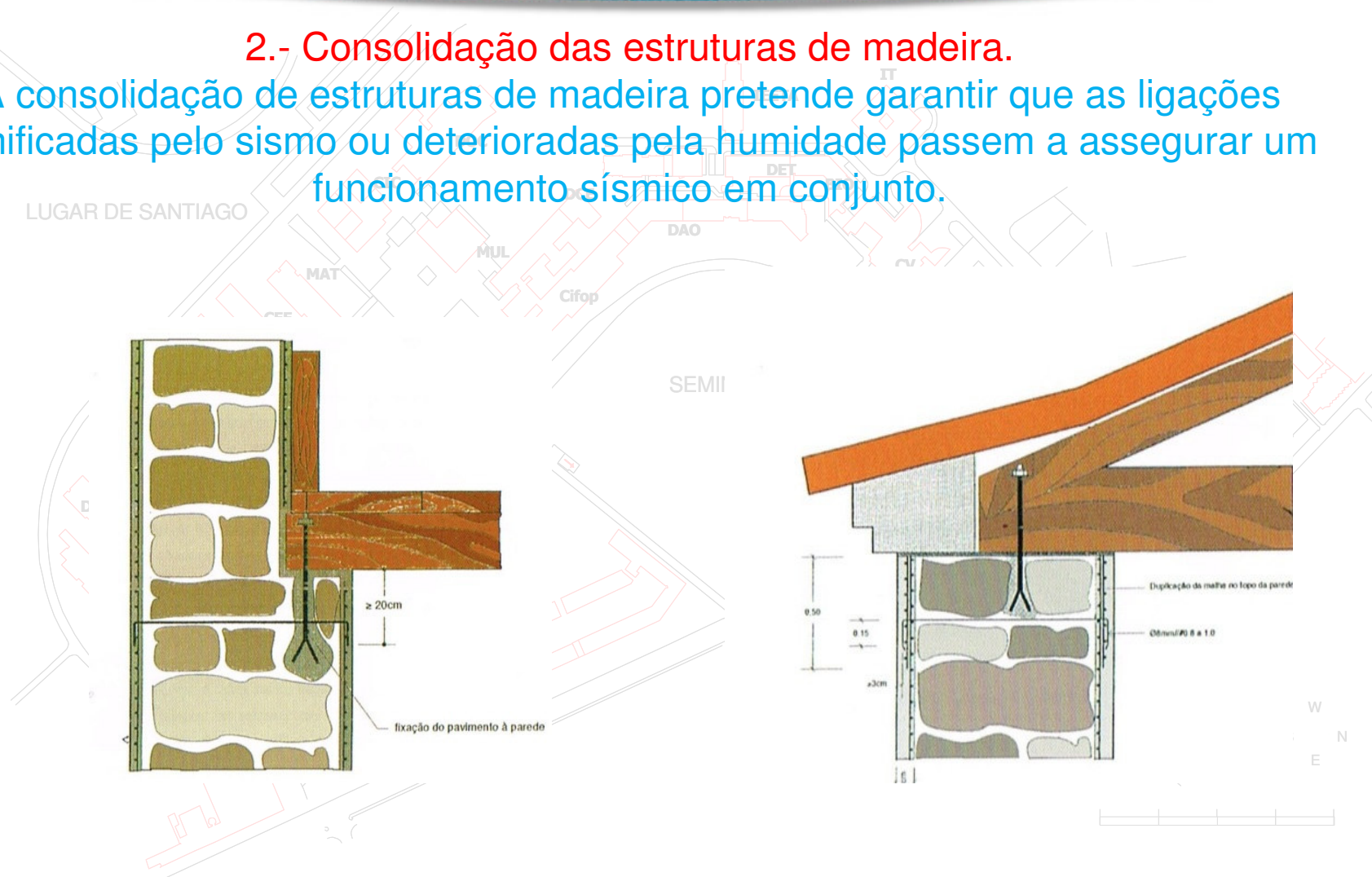


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

2.- Consolidação das estruturas de madeira.

A consolidação de estruturas de madeira pretende garantir que as ligações danificadas pelo sismo ou deterioradas pela humidade passem a assegurar um funcionamento sísmico em conjunto.

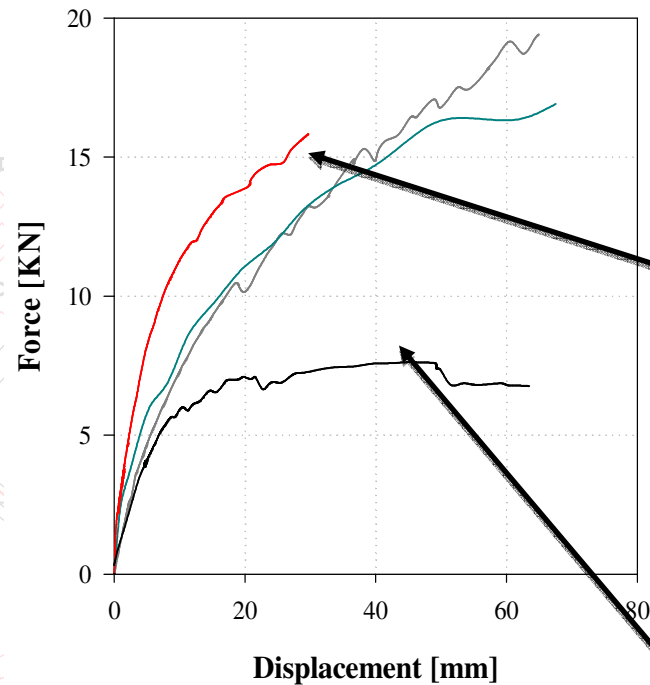


ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

Canada do Sousa (Faial, Açores)

- Comparação directa de reforços, mesmo entre os dois casos práticos

rCS03R – Tirante realizado com vigas de madeira e soalho ao nível do piso



HOSPITAL rCS01 – Original



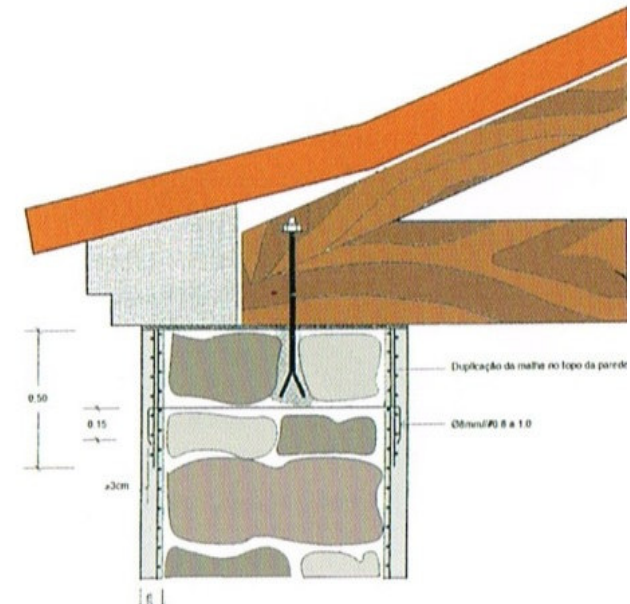
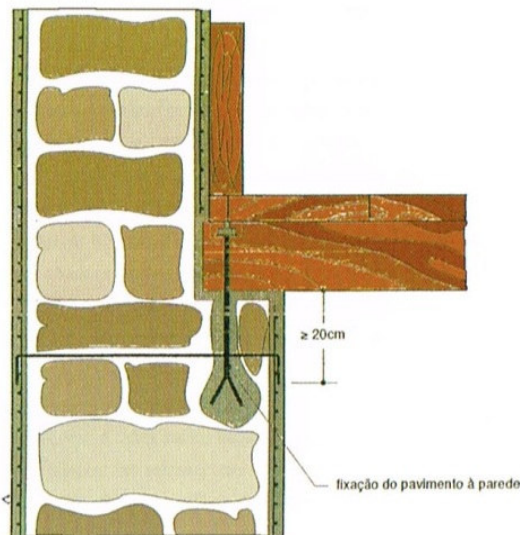
SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

Custos Finais

A intervenção em 8 casas representou um custo total de **647.325,7€**. O custo do reforço nas 8 casas foi de **16.888,0 €** correspondendo a uma % de **2,6%**

Custo médio do reforço: **23 €/m²**

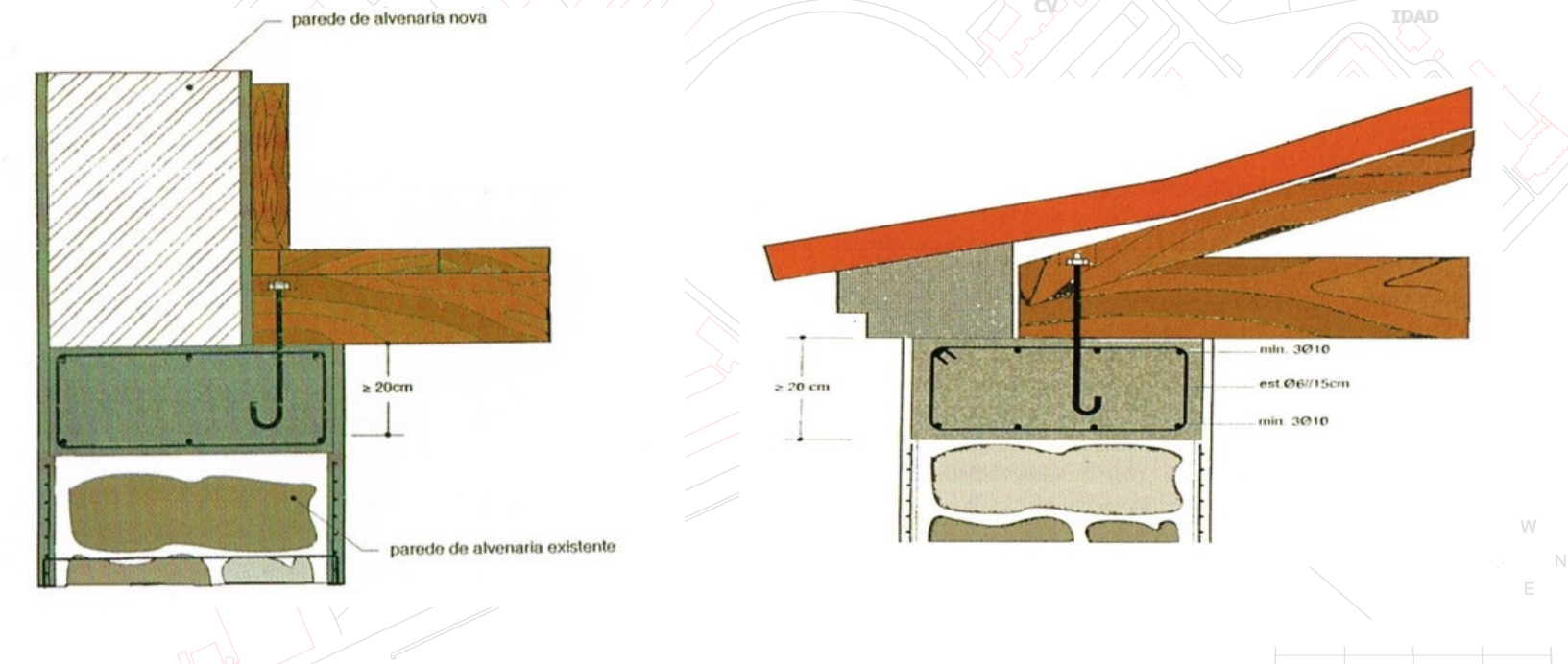


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

3.- Cintas de solidarização no coroamento das paredes.

A cinta de solidarização no coroamento das paredes consiste na execução de uma cinta de betão armado no coroamento das paredes exteriores, em toda a periferia do edifício e ligada à estrutura de madeira da cobertura.



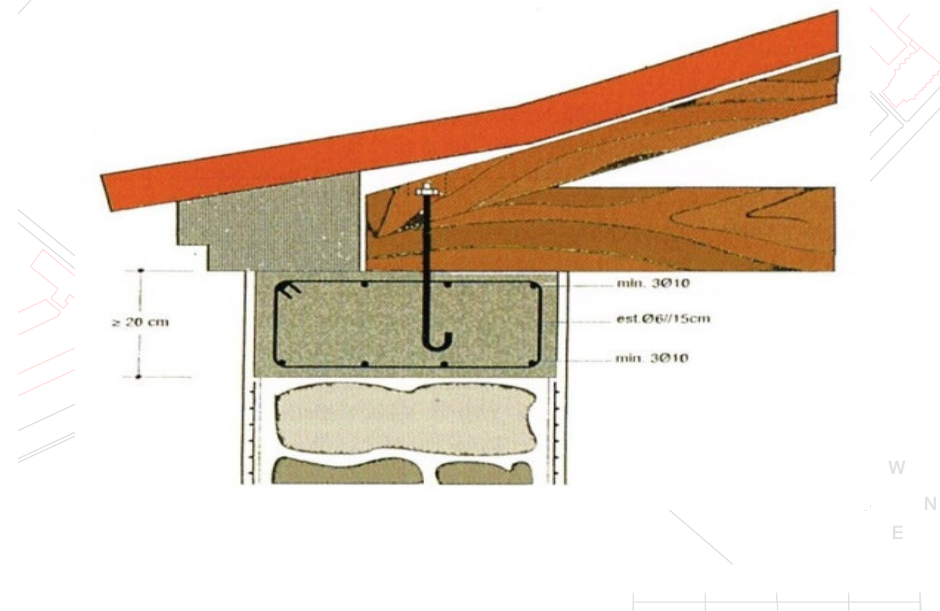
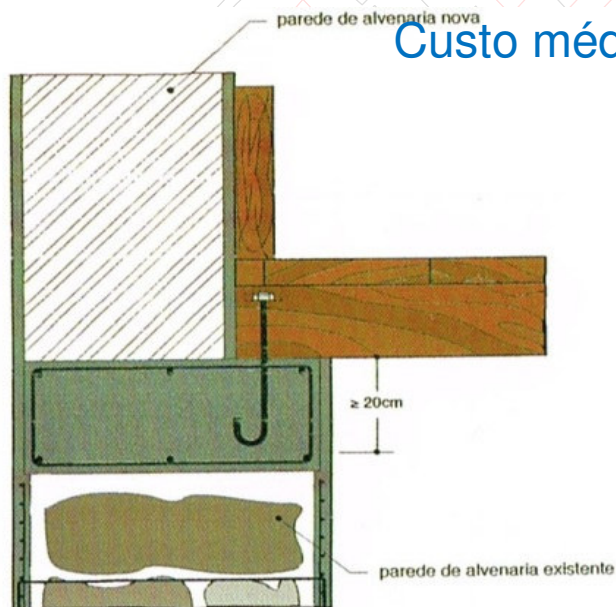
SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

Custos Finais

A intervenção em 14 casas representou um custo total de **1.045.158,1€**. O custo do reforço nas 14 casas foi de **99.719,6 €** correspondendo a uma % de **9,5%**

Custo médio do reforço: **64 €/m²**

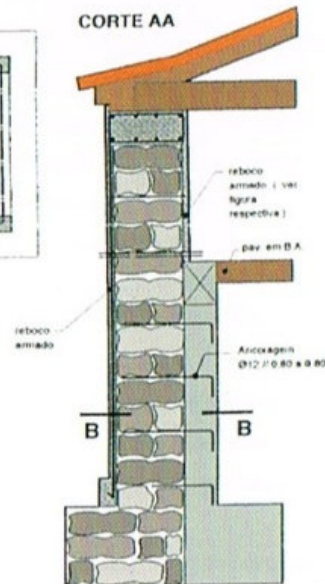
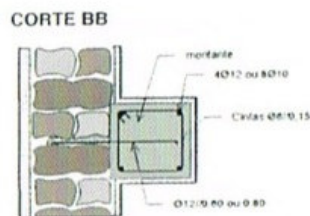
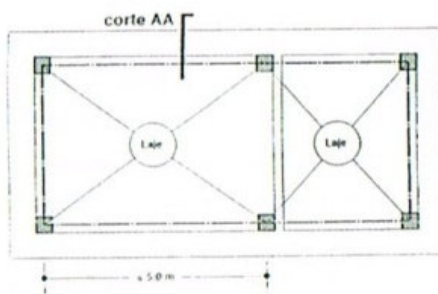


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

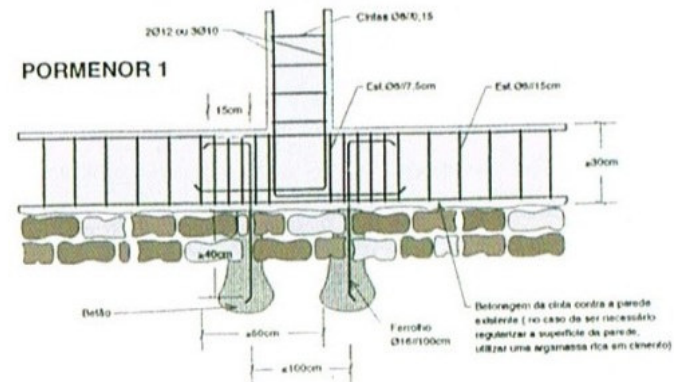
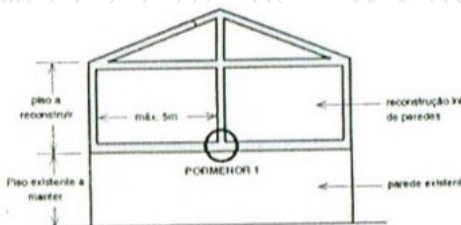
SOLUÇÕES DE REFORÇO

4.- Montantes de solidarização.

Os montantes de solidarização surgem para zonas de reconstrução integral de paredes. Estes montantes de betão armado deverão ser colocados nos cantos dos edifícios sempre que se execute uma laje em betão armado e deverão ser efectuadas as ligações entre a estrutura nova e as paredes de alvenaria.



SEMINAR



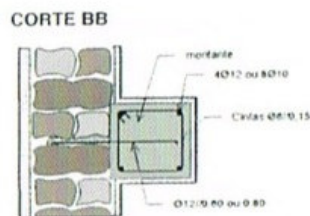
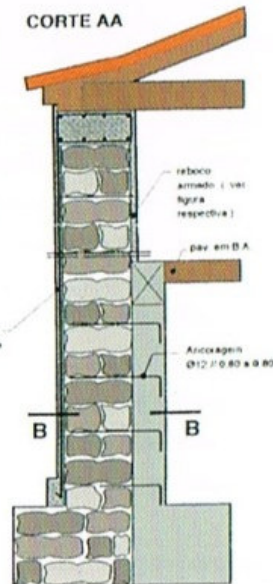
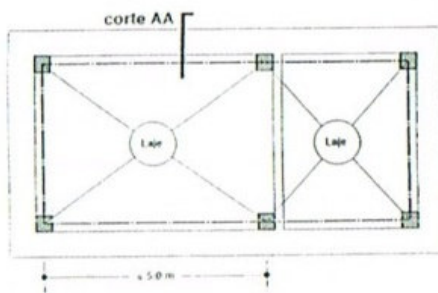
SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

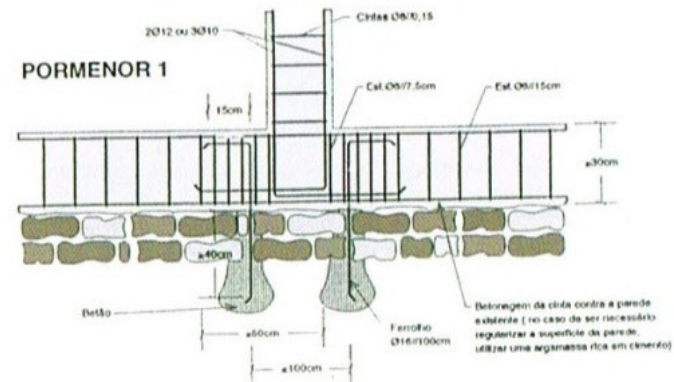
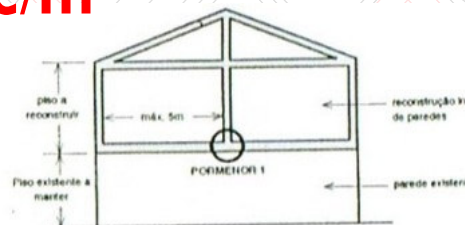
Custos Finais

A intervenção em 4 casas representou um custo total de **233.026,9 €**. O custo do reforço nas 4 casas foi de **22.778,7 €** correspondendo a uma % de **9,8%**

Custo médio do reforço: **43 €/m²**



SEMINAR

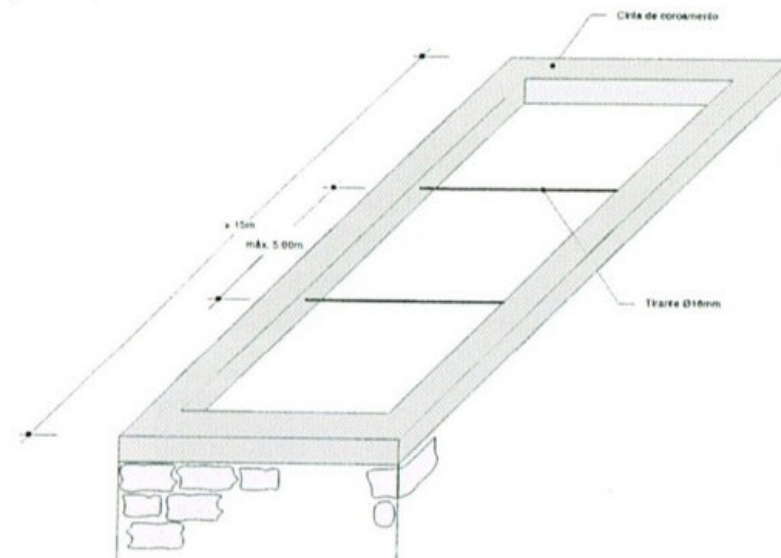
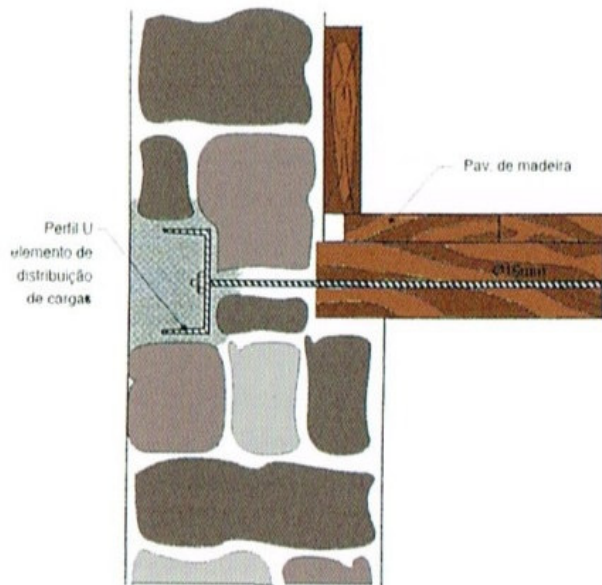


SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

5.- Tirantes de travamento de paredes

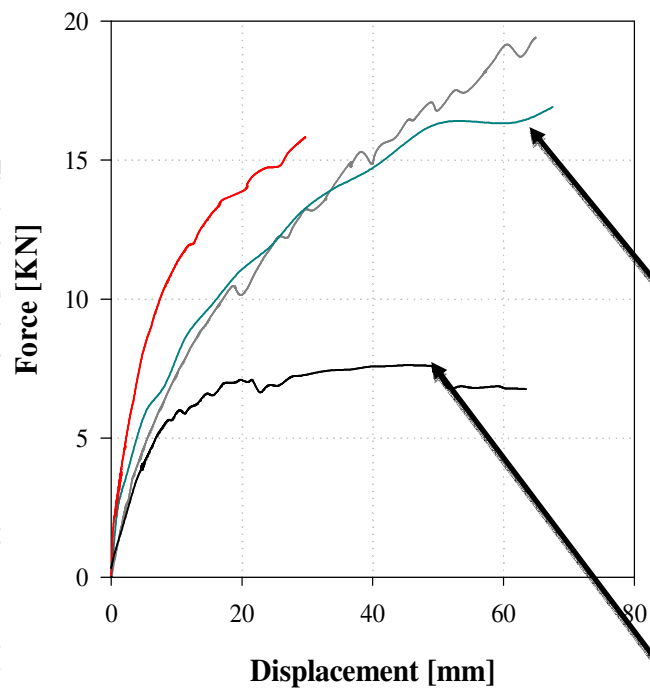
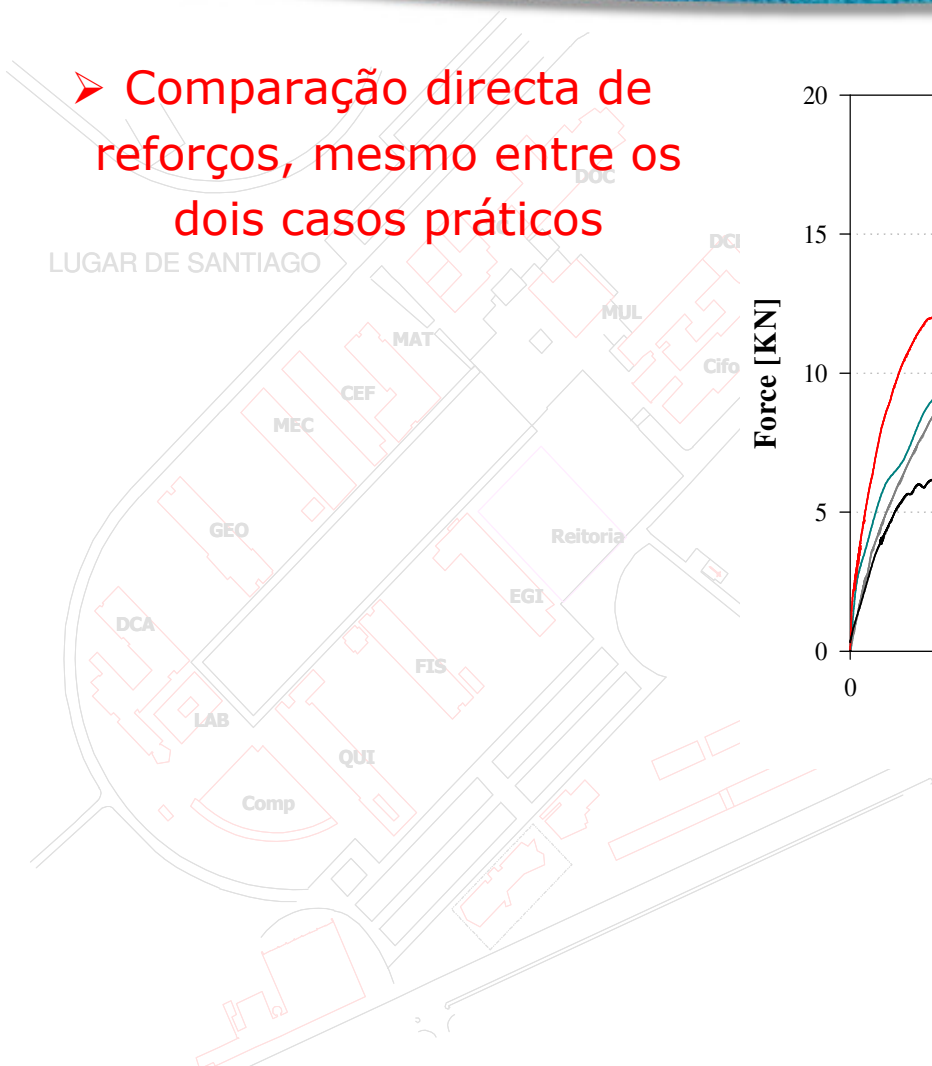
Tirantes de travamento de paredes aplicam-se em paredes muito longas com o objectivo de interligar as paredes exteriores opostas. São aplicados tanto ao nível dos pavimentos como da cobertura.



ENSAIOS EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES

Canada do Sousa (Faial, Açores)

- Comparação directa de reforços, mesmo entre os dois casos práticos



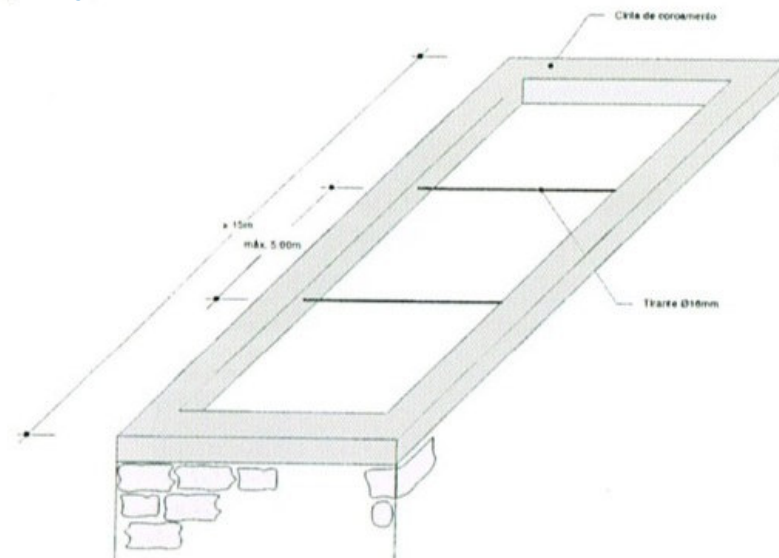
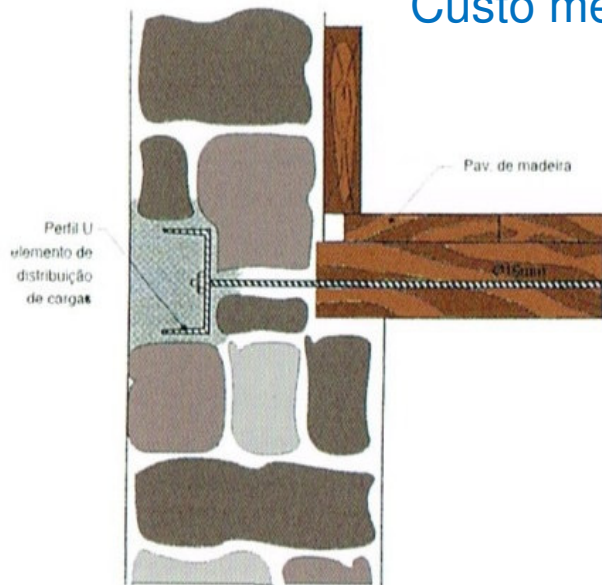
SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 - AÇORES

SOLUÇÕES DE REFORÇO

Custos Finais

A intervenção em 6 casas representou um custo total de **422.214,3€**. O custo do reforço nas 6casas foi de **14.127,5 €** correspondendo a uma % de **3,3%**

Custo médio do reforço: **17€/m²**



EDIFÍCIO EM LISBOA

Edifício da Rua dos Douradores, 96 a 104

Edifício com 7 pisos e uma área em planta de cerca de 210m² estudado pelo NCREP, gabinete de consultoria e projeto de reabilitação de construções (Porto)



EDIFÍCIO EM LISBOA

Edifício da Rua dos Douradores, 96 a 104

Foi efetuada uma avaliação expedita do comportamento do edifício à ação sísmica com base em métodos simplificados.

Estes métodos permitem estimar a vulnerabilidade sísmica e o risco da estrutura tendo em conta dois cenários: (i) condições do edifício reabilitado apenas para ações verticais; (ii) condições do edifício tendo em conta soluções pontuais de reforço com vista ao melhoramento sísmico do mesmo.



EDIFÍCIO EM LISBOA

Dano físico médio de 4,2 o que corresponde a um estado entre o dano muito severo e destruição.

Grau de dano, D_k		0	1	2	3	4	5
Nível de dano		Sem dano	Dano Ligeiro	Dano Moderado	Dano severo	Dano muito severo	Destruição
Índice de dano económico, d_e	ATC-13 [1985]	0,000	0,050	0,200	0,550	0,900	1,000
	Brammer et al. [1995]	0,000	0,010	0,100	0,350	0,750	1,000
	HAZUS [1999]	0,000	0,020	0,100	0,500	1,000	1,000
	Doke et al. [2000]	0,000	0,035	0,145	0,305	0,800	1,000

4,2



EDIFÍCIO EM LISBOA

Sugestões de intervenção para melhoramento do comportamento sísmico

REFORÇO SÍSMICO

1. Colocação de tirantes de ancoragem para: (i) ligação entre as paredes resistentes exteriores e (ii) das paredes de frontal às paredes existentes, ao nível dos diferentes pisos.
2. Reforço dos pavimentos em madeira com tarugamento e contra-soalho em cada um dos pisos por forma a criar um diafragma rígido ao nível dos pavimentos e mobilizar a capacidade resistente das paredes de frontal.
3. Reforço das ligações dos pavimentos às paredes resistentes.
4. Colocação de tirantes ao nível da cobertura para absorver os impulsos horizontais introduzidos.



EDIFÍCIO EM LISBOA

Melhoramento do comportamento sísmico

Dano físico médio de 2,9 que representa um estado de dano entre o moderado e o severo, permitindo concluir que é possível melhorar o comportamento sísmico da estrutura recorrendo a intervenções minimalista mas fundamentais ao melhor desempenho.

Grau de dano, D_k		0	1	2	3	4	5
Nível de dano		Sem dano	Dano Ligeiro	Dano Moderado	Dano severo	Dano muito severo	Destruição
Índice de dano económico, d_e	ATC-13 [1985]	0,000	0,050	0,200	0,550	0,900	1,000
	Bramertz et al. [1995]	0,000	0,010	0,100	0,350	0,750	1,000
	HAZUS [1999]	0,000	0,020	0,100	0,500	1,000	1,000
	Dolbe et al. [2000]	0,000	0,035	0,145	0,305	0,800	1,000

2,9



EDIFÍCIO EM LISBOA

CUSTOS

Custos estimados associados a intervenções na cobertura. -	5 683€	
Custos estimados associados a intervenções nas paredes de frontal -	56 945€	
Custos estimados associados a substituição de tabiques -	10 464€	
Custos estimados associados a reabilitação de tabiques estruturais -	9 277€	
Custos totais -	171 565€	
Custos por m2 -	115€/m²	
Custos do reforço sísmico por m2 -	35€/m²	23,3%
Custo Total por m2 -	150€/m²	



OBRIGADO PELA ATENÇÃO

